BULLETIN du MUSÉUM NATIONAL d'HISTOIRE NATURELLE

PUBLICATION BIMESTRIELLE

écologie générale

8

N° 152

MAI - JUIN 1973

BULLETIN
du
MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

57, rue Cuvier, 75005 Paris

Le *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, revue bimestrielle, paraît depuis 1895 et publie des travaux originaux relatifs aux diverses branches de la Science.

Les tomes 1 à 34 (1895-1928), constituant la 1re série, et les tomes 35 à 42 (1929-1970), constituant la 2e série, étaient formés de fascicules regroupant des articles divers.

A partir de 1971, le *Bulletin* 3e série est divisé en six sections (Zoologie — Botanique — Sciences de la Terre — Sciences de l'Homme — Sciences physico-chimiques — Écologie générale) et les articles paraissent, en principe, par fascicules séparés.

S'adresser :

— pour les **échanges,** à la Bibliothèque centrale du Muséum national d'Histoire naturelle, 38, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, 75005 Paris (C.C.P., Paris 9062-62) ;

— pour les **abonnements** et les **achats au numéro,** à la Librairie du Muséum 36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, 75005 Paris (C.C.P., Paris 17591-12 — Crédit Lyonnais, agence Y-425) ;

— pour tout ce qui concerne la **rédaction,** au Secrétariat du *Bulletin*, 57, rue Cuvier, 75005 Paris.

Abonnements pour l'année 1973

Abonnement général : France, 360 F ; Étranger, 396 F.

Zoologie : France, 250 F ; Étranger, 275 F.

Sciences de la Terre : France, 60 F ; Étranger, 66 F.

Écologie générale : France, 60 F ; Étranger, 66 F.

Botanique : France, 60 F ; Étranger, 66 F.

Sciences physico-chimiques : France, 15 F ; Étranger, 16 F.

International Standard Serial Number (ISSN) : 0027-4070.

BULLETIN DU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
3e série, n° 152, mai-juin 1973, Écologie générale 8

Données actuelles sur le lac Tchad et sa productivité

par Bernard H. DUSSART *

Résumé. — Caractérisé par des fluctuations périodiques importantes de son niveau, de sa flore et de sa faune, le lac Tchad est très peu profond et tend actuellement à s'assécher partiellement. Sa productivité est environ deux fois celle des lacs tempérés mésotrophes. Un gradient de salinité existe, mais le lac Tchad reste un lac d'eaux douces, exploité par l'homme pour ses besoins régionaux.

Abstract. — Chad lake is caracterized by large and periodic fluctuations of its level, flora and fauna. Its productivity is about twice that of temperate mesotrophic lakes. A salinity gradient is noted in the north part of the lake but Chad lake remains a fresh water one, exploited regionally by man. Actually it tends to disappear.

Bien qu'ayant fait l'objet d'observations il y a plus d'un siècle (EHRENBERG, 1856), le lac Tchad était encore mal connu. Grâce à l'action efficace d'une équipe pluridisciplinaire de l'ORSTOM et à son rôle attractif, nous sommes maintenant en mesure d'en évaluer la productivité et d'en suivre l'évolution.

Par les laboratoires de Fort-Lamy au Tchad et de Malamfatori au Nigéria, de nombreux travaux ont été effectués durant ces quinze dernières années. Ils sont venus accroître considérablement les connaissances déjà sérieuses que nous avaient apportées les collaborateurs du général Tilho qui, au début du siècle, avaient fait un premier bilan géographique et biologique. La « Monographie du bassin du Tchad » de BOUCHARDEAU et LEFÈVRE (1957) nous avait apporté des renseignements précieux. Confrontés aux réalités d'aujourd'hui, ils se sont avérés être des caractères momentanés du lac.

Celui-ci, en effet, évolue de manière plus ou moins cyclique, plus ou moins rapide. Recueillant les eaux courantes d'un bassin de 2 500 000 km², à une latitude et sous un climat tropical (sahélien), le lac a un taux de renouvellement de ses eaux voisin de 1,5 (entre 0,8 et 3). C'est dire sa dépendance étroite du débit de son tributaire le plus important, le Chari, qui amène chaque année au lac quelque 40 à 45 milliards de mètres cubes d'eau douce. La cote 282 m, la plus représentative des années passées, correspond à un volume du lac de 73 km³ et à une profondeur moyenne de 3,85 m (profondeur maximale : environ 12 m).

Les fluctuations saisonnières de débit du Chari, liées à la forte évaporation au-dessus du lac (2,18 m par an) amène le niveau du lac à fluctuer annuellement d'un mètre en moyenne

1. Communication présentée aux Journées d'étude « Eaux et pêches outre-mer : inventaire, écologie, utilisation », Paris, 23-24 mars 1973.

* *Laboratoire des Pêches outre-mer (Limnologie tropicale), 57, rue Cuvier, 75231 Paris Cédex 05.*

mais à cette fluctuation s'ajoute celle pluri-annuelle qui fait soit monter, soit baisser le niveau moyen. Élevé voici une dizaine d'années, il a atteint son maximum vers 1963 (282,64 m) et descend depuis régulièrement (1967 : 281,53 m ; 1972 : 280,07 m). Il était probablement à 284 m en 1874 mais n'atteignait plus que 277,35 m en 1908 (Daget, 1967). Nous verrons tout à l'heure quelle est la tendance actuelle du lac.

Caractéristiques essentielles de la région du lac Tchad

Climat de type sahélien
Vents réguliers du Nord-Est (harmattan), secs de novembre à mars
du Sud-Ouest (mousson), humides d'avril à octobre
plus forts entre 6 h et 12 h
Précipitations faibles : moyenne de 320 mm par an, moins fortes au nord qu'au sud, sur 38 jours par an dont 19 en août
Température moyenne de l'air : 27°C (17° — 38°C)
de l'eau : 27°C (19° — 32°C)
Insolation intense, de l'ordre de 7 à 10 h de soleil par jour
Rayonnement incident important, de l'ordre de 550 cal/cm²/jour

Caractéristiques essentielles du lac Tchad

Longueur : environ 280 km
Largeur : environ 100 km
Surface : 8 000 à 25 000 km² suivant les années
Volume : 31 à 105 km³ suivant les années
Profondeur moyenne : 3,85 m à la cote 282 m
Altitude : 280 à 284 m suivant les années
Latitude : 12° — 14°20 N
Longitude : 13° — 15°20 E
Transparence : variable (0,15 m — 0,80 m)
Budget calorifique : variable, à 282 m environ 3 000 cal/cm²

LE LAC EN HAUTES EAUX

A l'époque des premières études programmées, voici maintenant huit ans, le lac Tchad avait presque atteint son niveau moyen le plus élevé. Les eaux libres, de grande étendue, permettaient de sillonner le lac du nord-ouest au sud-est sans inconvénient ; la barre médiane, qui sépare un bassin nord du reste du lac, se laissait traverser sans difficulté majeure. On ne savait presque rien de la nature physique et chimique des eaux, des sédiments ni de la composition de la flore ou de la faune locale, si ce n'est un inventaire piscicole (Blache, 1964). On soupçonnait la présence du lamantin dans la région et c'était tout. La pêche était locale, vivrière, peu développée.

Aujourd'hui, nous sommes à même de suivre l'évolution de cet énorme écosystème. Carmouze (1968, 1969, 1970, 1971) a progressivement découvert les caractéristiques physico-chimiques de la masse lacustre. S'appuyant sur les travaux de Bouchardeau (1958),

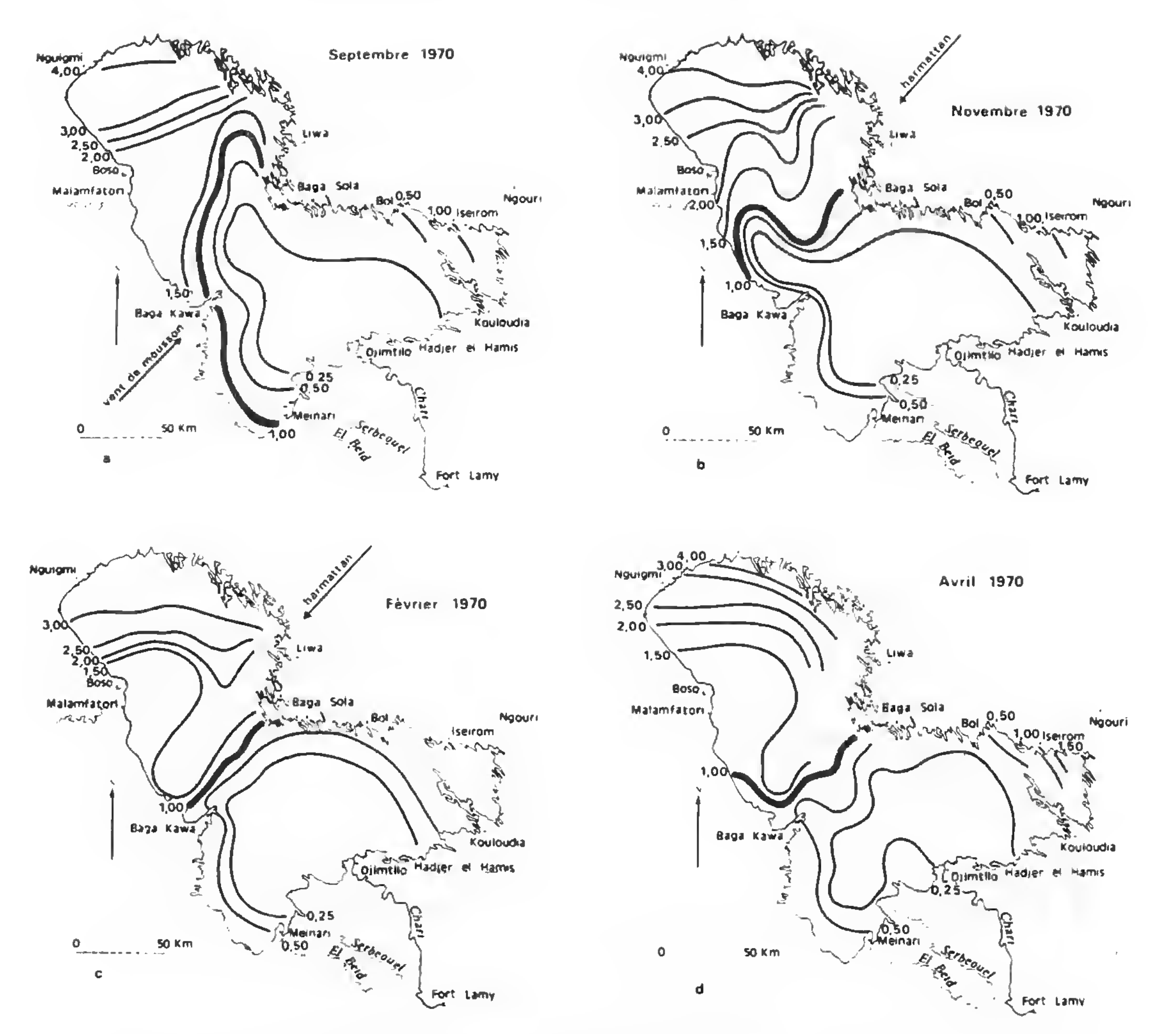


Fig. 1. — Grands mouvements saisonniers des eaux, d'après les courbes d'isoconcentration en sodium (méq/l) (d'après Carmouze, 1971).

Gras (1964), Gras, Iltis et Lévèque-Duwat (1967), sur ceux de Roche (1969, 1970), de Touchebeuf de Lussigny (1969) et sur ses travaux personnels, il a établi des cartes de répartition des principaux ions présents dans les eaux et expliqué d'une part les raisons de l'augmentation de salure ionique des eaux du lac du sud vers le nord et aussi le processus de régulation saline qui permet au lac de rester en gros un lac d'eau douce.

Étant donné la faible profondeur moyenne du lac et la puissance de la crue du Chari (75 % des apports entre septembre et décembre) la cuvette sud est presque entièrement constituée d'eaux récentes (neuves), tandis que le mélange des eaux d'âges différents est réalisé dans la cuvette nord par les vents, du nord-est (harmattan) en saison sèche, du sud-ouest en saison des pluies (mousson de juin à octobre).

Les caractéristiques essentielles, maintenant connues, du lac Tchad sont ainsi les suivantes :

Les apports du Chari sont éliminés par évaporation progressive au cours de leur cheminement sud-est nord-ouest. Les vents, par leur orientation, ne mélangent pas les eaux des cuvettes sud sud-est et nord nord-ouest. Il y a renouvellement rapide au sud, plus lent au nord et par voie de conséquence maintien d'une faible salure au sud et gradient au nord avec des eaux devenant légèrement saumâtres à l'extrême nord (fig. 1).

A la mi-janvier le lac est en équilibre hydrologique. En mai, les eaux du nord ont tendance à refluer vers le sud où les pertes par évaporation font baisser le niveau alors que le Chari est à l'étiage, d'autant plus que 7,5 % des eaux du lac sont perdus annuellement par infiltration.

En période de faible débit du Chari, le niveau du lac baisse donc. La courbe bathymétrique du lac montre qu'au-dessous de la cote 280 m, la cuvette sud diminue très vite de taille (fig. 2). Au-dessous de 277 m, elle n'existerait plus que sous forme d'un marécage sans profondeur. La cuvette nord subsisterait, individualisée jusqu'à la cote 275 m. Sans alimentation, il ne lui faudrait qu'une année pour passer de l'une à l'autre de ces cotes. En tenant compte des précipitations locales, deux ans suffiraient.

La régulation saline, bien qu'encore insuffisamment connue, s'explique par le fait que les ions présents réagissent entre eux pour donner naissance à des silicates de type argile. Les recherches sont en cours pour en connaître la vraie nature et leur vitesse de formation, notamment dans la cuvette sud.

Les sédiments du fond du lac sont en effet très variés. Il y a longtemps que l'on sait

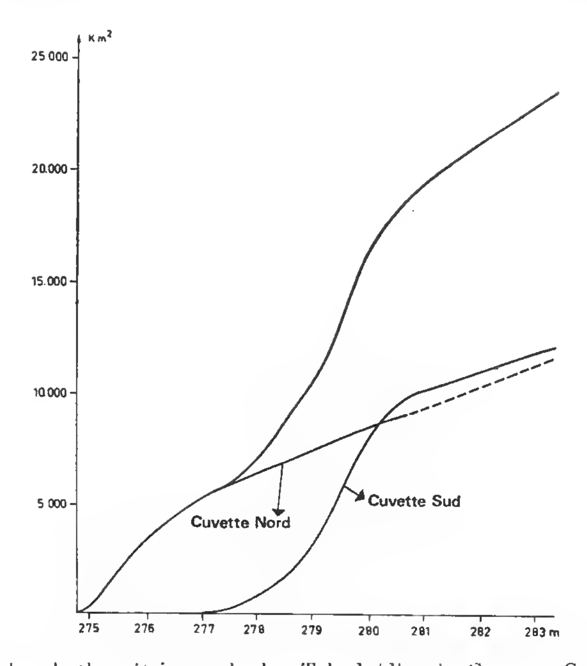


Fig. 2. — Courbes bathymétriques du lac Tchad (d'après Gras et Carmouze, 1971).

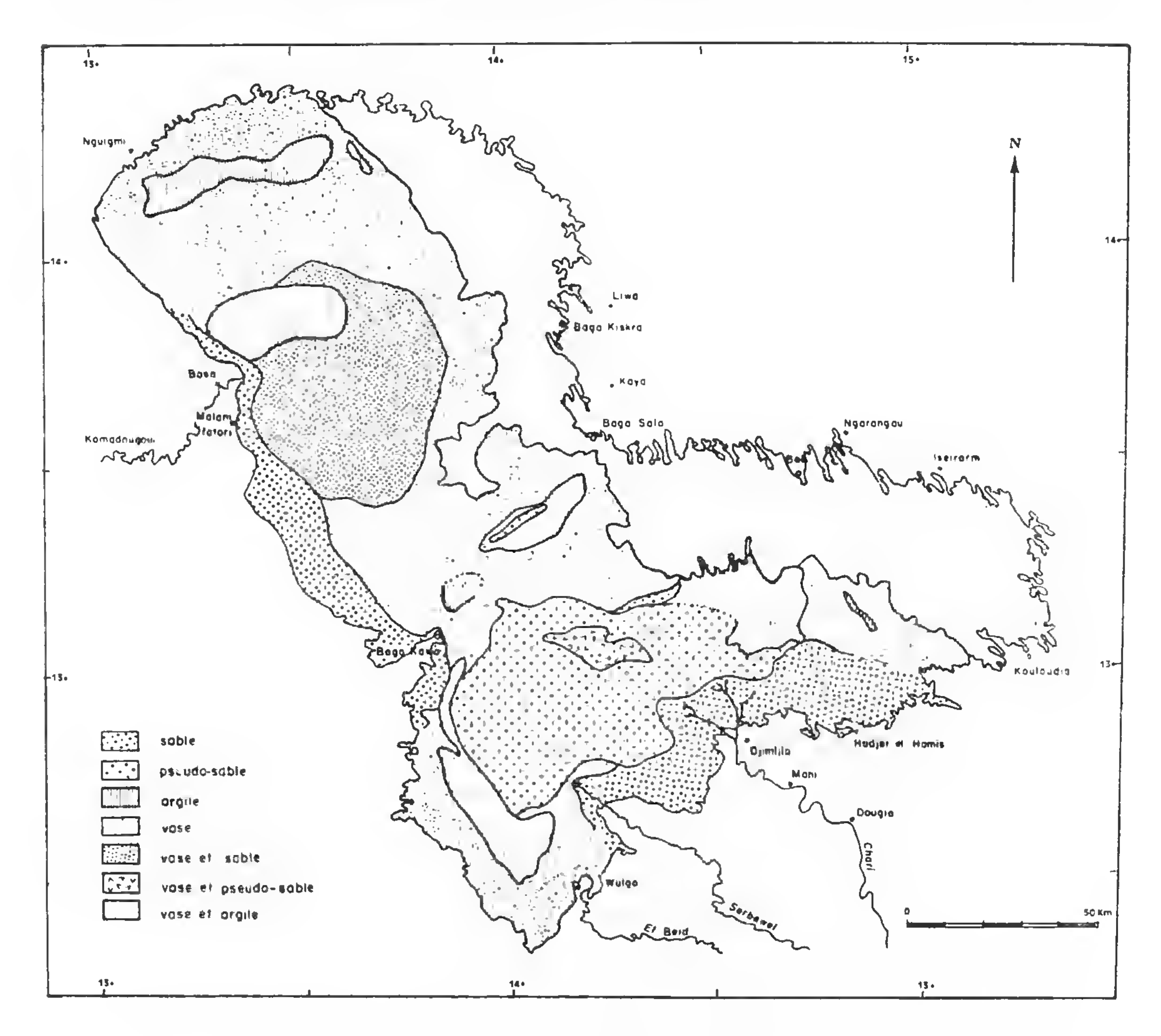


Fig. 3. — Carte de répartition des sédiments dans le lac Tchad (d'après Dupont, 1970).

qu'au fond du lac, il y a des sables. De fait, à ces sables de dunes immergées sont associés d'autres sédiments dont la cartographie a été effectuée.

On peut distinguer quatre types de sédiments :

— la vase, composée d'argile (montmorillonite surtout), de limon et de sables (faibles proportions), contient en moyenne 15 % de matière organique sous forme de débris végétaux fins. Quand cette matière organique est abondante et peu évoluée, on passe à la tourbe. L'eau interstitielle de cette vase est souvent plus salée, plus riche en Mg et en silicates que l'eau sus-jacente.

— l'argile, fine, contient moins de 4 % de matière organique. Elle peut être molle

(argile molle) ou compacte et prend alors une couleur bleue (argile bleue). Plus compacte encore, elle se structure et peut devenir de l'argile granulaire à granules anguleux de quelques millimètres ou centimètres de diamètre.

— le pseudo-sable est formé de noyaux de montmorillonite entourés de goethite pelliculaire. Les grains, de 0,2 mm de diamètre moyen, ont une forte densité (2,8).

— le sable, enfin, est constitué de grains quartzeux ou micacés de 0,25 à 0,60 mm.

Ces sédiments sont irrégulièrement répartis, aussi bien à grande échelle (Dupont et Lévêque, 1968) qu'à petite échelle (Dupont, 1970) (fig. 3 et 4).

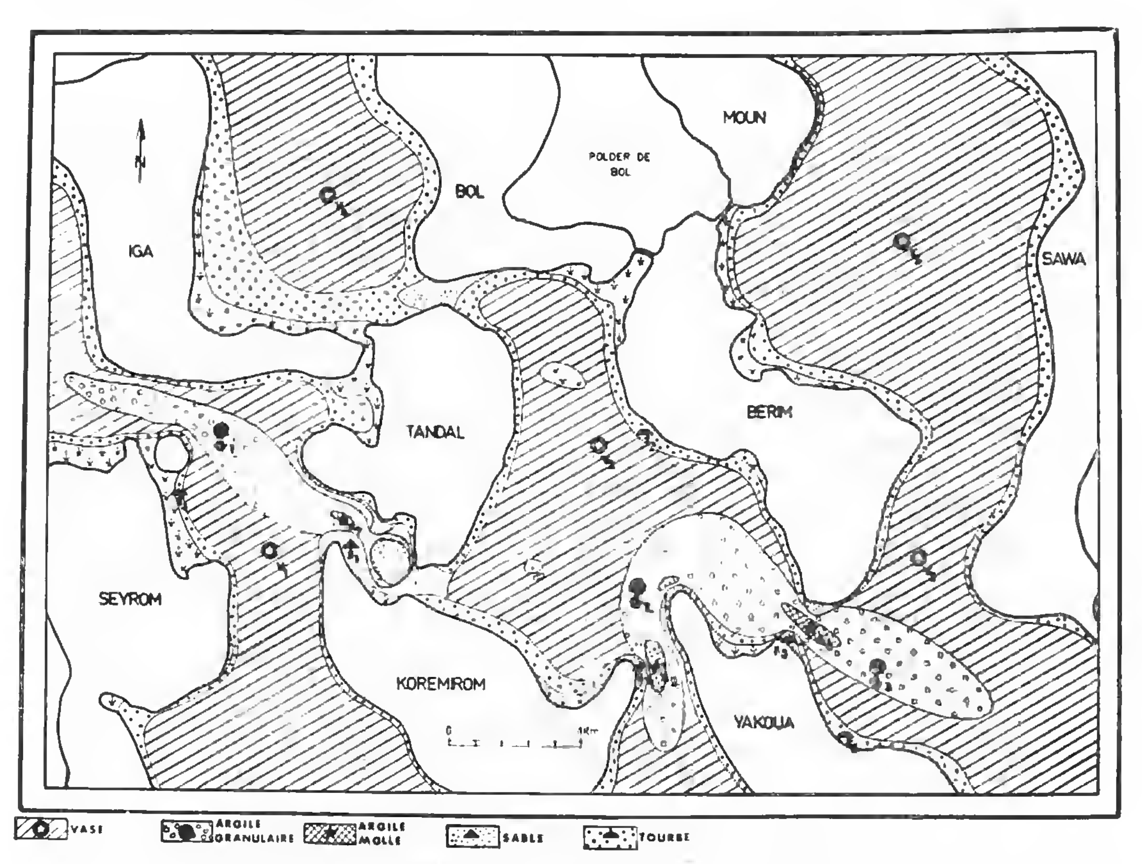


Fig. 4. — Carte des fonds dans l'archipel au nord-est du lac Tchad (d'après Dupont et Lévêque, 1968).

Les quatre communautés essentielles vivant dans le lac Tchad sont :

— les animaux du benthon auxquels nous associerons les Phanérogames des herbiers ;

— les végétaux et animaux du plancton ;

— les animaux du necton, notamment les poissons qui se nourrissent aux dépens des précédents ;

Tableau I. — Caractéristiques des principales régions écologiques différenciables dans le lac Tchad.

		Surface	Surface en eau	Profondeur	Fonds	Transparence	Conductivité	Salure
Cuvette nord	Ilots-bancs du nord (ibn)	3 560	83 %	5 à 8	Vase	60 à 80	500 à 1 500	Ca = 22 à 27 % Mg = 25 à 29 % Na = 35 à 40 % K = 8 à 10 %
	Archipel nord (an + acn)	2 200	52 %	4 à 6	Vase + Argile	60 à 80	200 à 1 200	
	Eaux libres du nord (eln + elcn)	4 200	100 %	4 à 7	Vase + Sable	40 à 60	250 à 500	
Cuvette sud	Archipel est (ao)	1 050	49 %	2,5 à 4	Vase + Argile	35 à 50	150 à 650	Ca = 35 à 40 % Mg = 24 à 31 % Na = 25 à 35 % K = 7,5 à 11 %
	Archipel sud-est (aso)	1 470	62 %	2,5 à 4	Vase + Argile	20 à 50	70 à 200	
	Eaux libres sud est (elo)	1 850	100 %	3 à 4	Pseudo sable + Argile	10 à 50	50 à 120	Ca = 27 à 40 % Mg = 25 à 31 % Na = 22 à 35 % K = 7,5 à 10 %
	Eaux libres du sud (els)	1 850	80 %	2 à 3	Pseudo sable + Vase	15 à 30	50 à 120	
	Ilots-bancs du sud est (ibso)	1 200	80 ?	2 à 3	Vase + Argile	15 à 30	50 à 125	
	Ilots-bancs du sud (ibs)	1 450	85 %	2	Vase + Argile	15 à 30	50 à 250	Ca = 22 à 35 % Mg = 24 à 29 % Na = 27 à 40 % K = 8 à 11 %
	Grande barrière (gb)	2 000	80 %	2 à 3	Vase	15 à 30	50 à 400	
Unités		Km²	%	m		cm	μ mhcs	

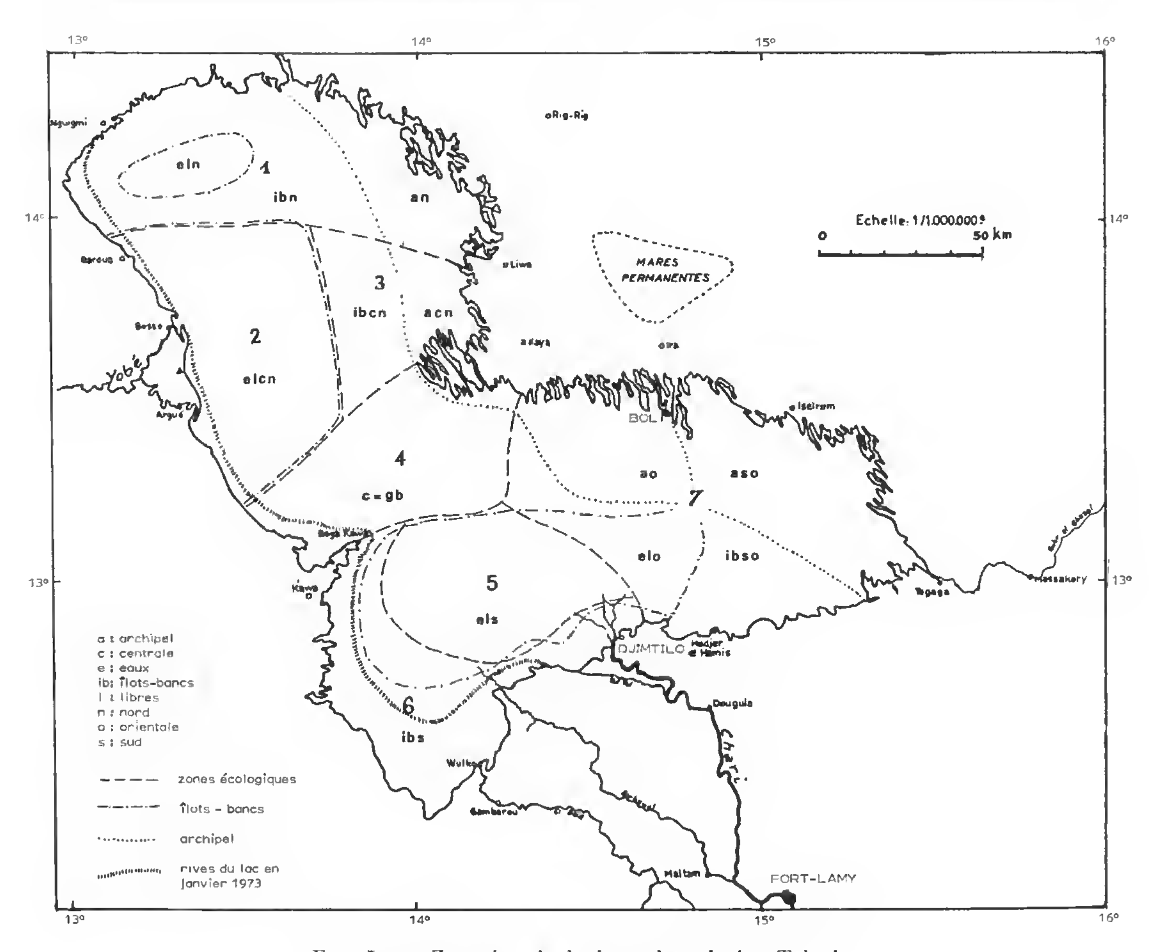


Fig. 5. — Zonation écologique dans le lac Tchad.

— les êtres aériens, oiseaux et humains surtout qui puisent dans le lac une partie au moins de leur nourriture.

Ils se répartissent en fonction des caractéristiques du milieu. Celles-ci permettent de distinguer dans le lac une dizaine de régions naturelles, écologiquement distinctes (fig. 5 et tableau I).

Les animaux du benthon

La récente thèse de Lévêque (1972) était consacrée aux mollusques benthiques. Ce sont sans doute les organismes qui, en biomasse, représentent la fraction la plus importante de l'écosystème : 46 000 tonnes de matière organique, soit 750 000 tonnes (poids total alcoolique humide), les plus répandus étant les Prosobranches *Bellamya unicolor* (Olivier),

Cleopatra bulimoides (Olivier) et surtout *Melania tuberculata* (Müller) et les Lamellibranches *Corbicula africana* (Krauss) et *Caelatura aegyptiaca* var. *lacoini* (Germain).

Les trois quarts des effectifs des mollusques sont concentrés dans seulement 45 % des biotopes colonisés, soit les eaux libres du nord et du sud, la grande barrière et l'archipel du nord-est (au moins sa moitié méridionale).

Les Pulmonés, non encore étudiés, sont surtout abondants dans les herbiers à Potamots, *Vallisneria*, *Ceratophyllum*, *Cyperus papyrus*, etc.

Les insectes, qui accompagnent ces mollusques dans les biotopes correspondants, sont des Diptères chironomides (103 espèces dont 11 très fréquentes), des Chaoborides (3 espèces), des Éphéméroptères (5 espèces dont 3 fréquentes), des Trichoptères (12 espèces dont 3 fréquentes), des Odonates (9 espèces dont 3 abondantes), des Hémiptères (13 espèces dont 2 très abondantes) (étudiés initialement par Poisson, 1939).

La proportion numérique de ces principaux groupes représentés, au moins dans la zone est, la plus étudiée, est : Chironomides 74 % ; Éphéméroptères 10 % ; Chaoborides 7 % ; Trichoptères 6 %.

Enfin, les vers, essentiellement des Oligochètes, sont surtout des Alluroididae (*Alluroides tanganikae*) et des Tubificidae (*Aulodrilus remex* et *Euilyodrilus* sp.). Leur rôle est encore mal compris car ils ne semblent guère servir à l'alimentation au moins des poissons étudiés.

Les phanérogames des herbiers

Elles sont la caractéristique essentielle d'étendues importantes. Les unes, inféodées à la frange plus ou moins littorale, constituent de vrais tapis flottants dont certains lambeaux se détachent sous l'action des tempêtes causées par le vent et forment des îlots flottants dénommés localement « kirtas ». Ce sont des ensembles à *Cyperus papyrus* et *Vossia cuspidata* dominants auxquels s'adjoignent parfois des *Phragmites australis*. Là où la végétation immergée prédomine, se rencontrent des prairies de *Ceratophyllum demersum* (quand la profondeur avoisine 1,80 m), *Potamogeton schweinfurthi* (par 1,20 m de fond), *Vallisneria* sp., etc. D'autre part, Léonard (1969) signale que les *Vossia* et les *Papyrus* tendent à disparaître progressivement vers le nord tandis que les *Typha* et les *Phragmites* présentent la tendance inverse. Il signale une dizaine d'associations ou groupements discernables dans le lac.

La faunule d'accompagnement de ces herbiers est caractéristique et son étude est en cours (Dejoux et Saint-Jean, 1972). Elle pose des problèmes particuliers liés à la difficulté de navigation dans la région qu'ils occupent (sud-est, nord, grande-barrière), d'échantillonnage et même de pêche de poissons dont 50 % sont typiques de ces herbiers.

Les végétaux et animaux du plancton

Nous sommes encore loin de connaître tous les organismes constituant le plancton du lac Tchad. En 1967, Iltis (*in* Gras, Iltis et Lévêque-Duwat) nous fournissait une liste des genres d'algues présents et Compère (1967) cataloguait 444 taxons dont 184 Desmidiées et 142 Diatomacées dans la partie orientale du lac (à l'est de l'axe Bol — Djimtilo)

et la région avoisinante. Déjà EHRENBERG (1856) rapportait au lac Tchad, d'après des échantillons de VOGEL, quelque 64 espèces d'algues du lac (surtout des Diatomacées).

Après les travaux de GAUTHIER (1939), les Copépodes étaient abordés par DUSSART et GRAS (1966), les Cladocères par REY et SAINT-JEAN (1968, 1969), les Rotifères par POURRIOT (1968). Si la distribution saisonnière des éléments du zooplancton a fait l'objet de recherches par ROBINSON et ROBINSON (1971), l'essentiel de l'activité planctologique a été orientée vers les études de production (GRAS, SAINT-JEAN) (cf. p. 157).

LES ANIMAUX DU NECTON

Si BLACHE (1960, 1964) puis MANN (1962) nous avaient donné la liste des poissons vivant dans le lac, nous n'avions que peu ou pas de renseignements sur la biologie des principales espèces présentes ou intéressantes commercialement, leur croissance, leur reproduction, leur nutrition, leur mode de vie, leur distribution, leur répartition (cf. tabl. II).

TABLEAU II. — Importance numérique et pondérale des principales espèces de poissons de l'archipel est (d'après LAUZANNE, 1972).

ESPÈCES	% NOMBRE	% POIDS
Synodontis batensoda	31,60	16,11
Tilapia galilaea	5,92	12,54
Lates niloticus	0,47	11,52
Alestes baremoze	15,42	10,51
Alestes dentex	15,94	10,39
Synodontis membranaceus	1,77	7,07
Hydrocyon forskalii	4,96	4,53
Hydrocyon brevis	0,49	3,44
Labeo senegalensis	1,65	3,17
Schilbe mystus	2,93	2,73
Alestes macrolepidotus	0,84	1,78
Hyperopisus bebe	0,94	1,71
Eutropius niloticus	3,01	1,69
Synodontis cf. *schall*	8,70	1,56
Citharinus citharus	0,42	1,47
Heterotis niloticus	0,06	1,36
Bagrus bayad	0,24	1,18
Divers (25 espèces)	4,64	7,24

Nous connaissons maintenant la relation longueur/poids de nombreuses espèces mais l'étude de la croissance n'a été étudiée jusqu'à présent dans le détail que pour *Alestes baremoze* (DURAND et LOUBENS, 1969). La nutrition de cette espèce a été abordée par LAUZANNE (1969) alors que ce chercheur situait par ailleurs (LAUZANNE, 1972) le réseau alimentaire des 17 principaux poissons de la partie orientale du lac (on n'y trouve pas de phytoplanctophages stricts) (fig. 6).

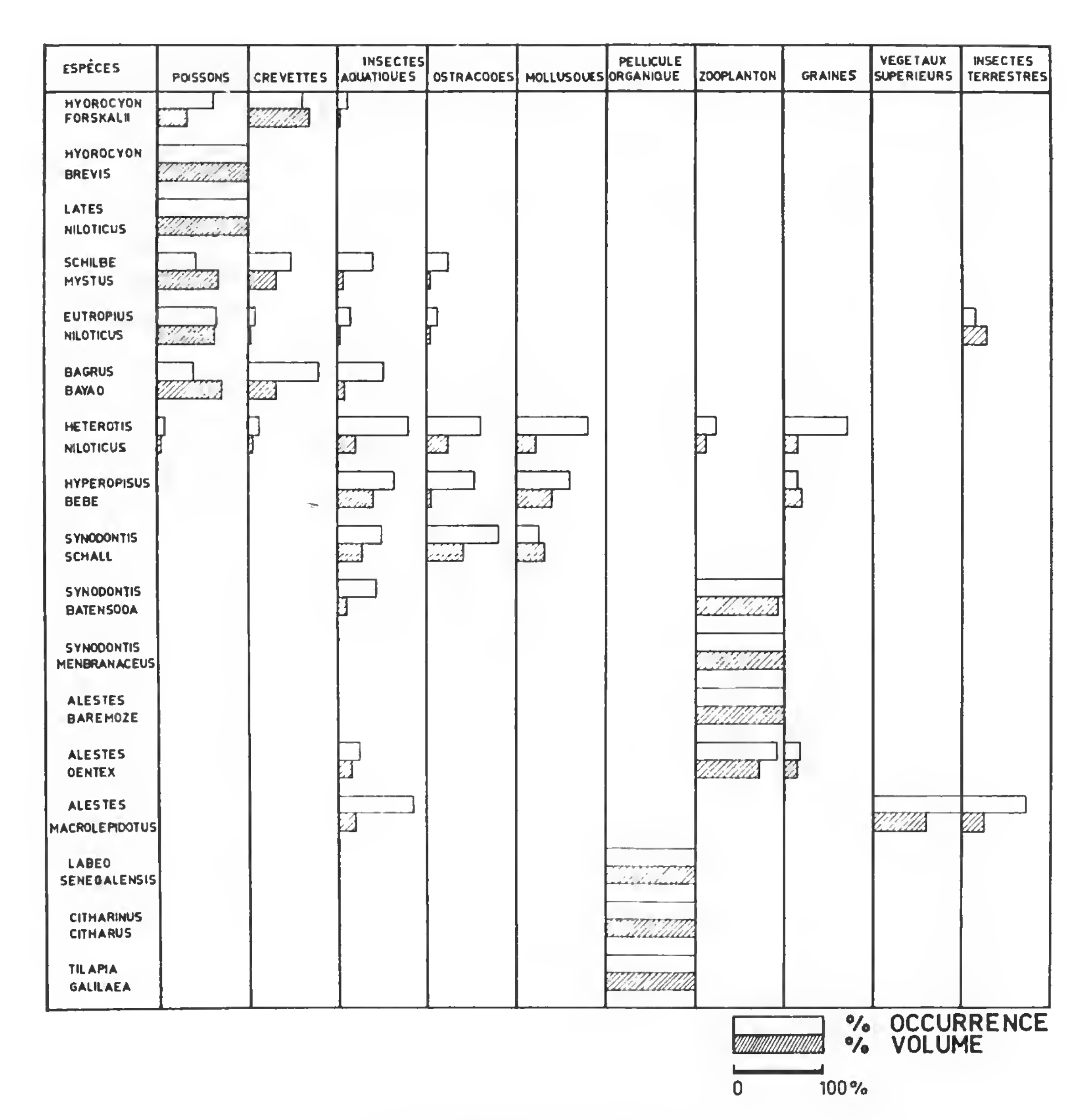


FIG. 6. — Régimes alimentaires des principales espèces de poissons de l'archipel oriental du lac Tchad (d'après LAUZANNE, 1972).

Quatre groupes de consommateurs ont été distingués (fig. 7) :

— carnivores primaires, zooplanctophages, soit 44 % du total pondéral des prises ;
— carnivores ichtyophages, soit 25 % ;
— détritivores, soit 17 % ;
— carnivores primaires se nourrissant d'organismes benthiques, soit 5 %.

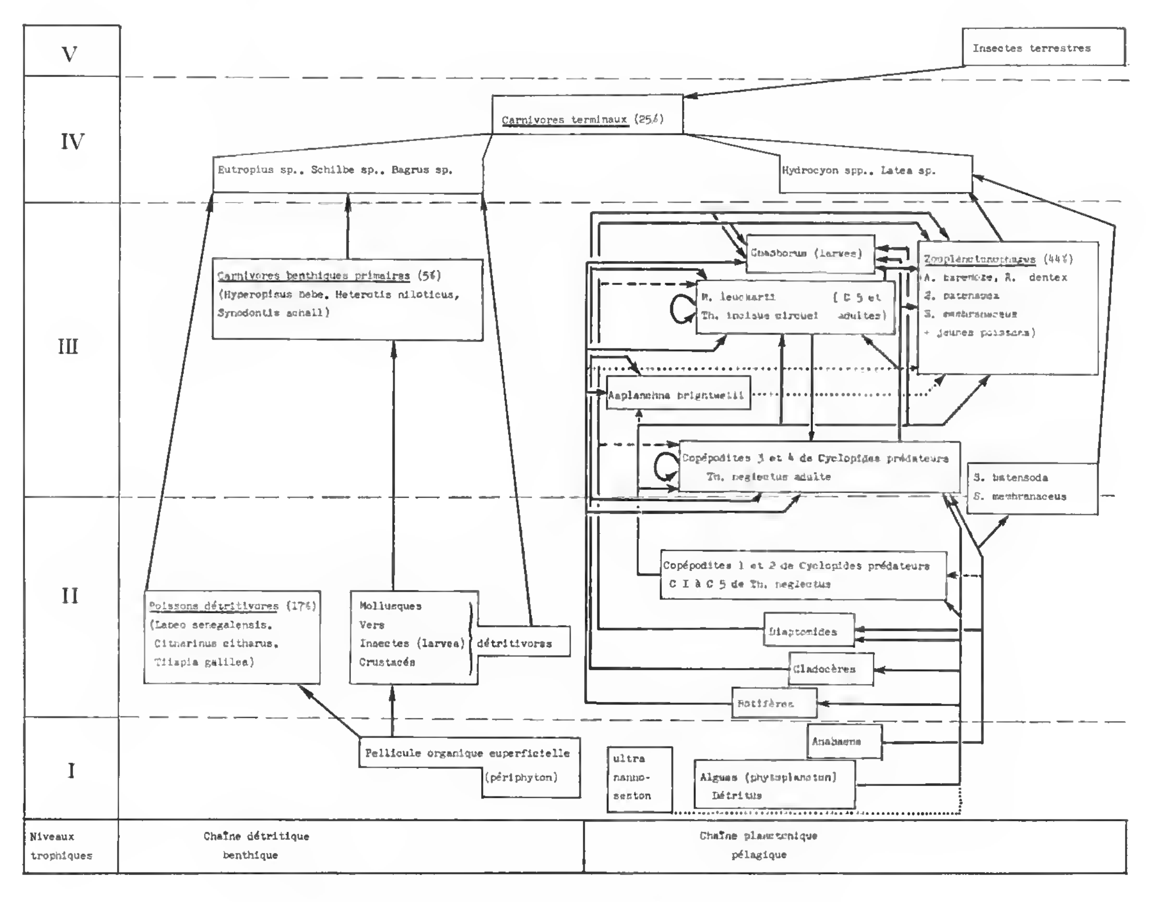


Fig. 7. — Chaînes alimentaires dans le lac Tchad.

Les organismes aériens

En dehors des humains, ce sont surtout des oiseaux. Cependant, ceux-ci se nourrissent plutôt de la faune terrestre avoisinante ou des écophases aériennes d'espèces à certaines écophases aquatiques et encore plus rarement de mollusques, surtout recherchés comme matériel de broyage au niveau du gésier plutôt qu'en tant que nourriture.

Nous n'avons aucun renseignement sérieux sur le rôle des mammifères, notamment hippopotames, éléphants, et des reptiles (crocodiles) sur le lac Tchad.

Les humains, pour leur part, pêchent activement dans le lac mais les statistiques de pêche ne sont pas assez précises, quand elles existent, pour que l'on puisse se faire une idée suffisante de leur rôle de prédateurs. Leur action se chiffre en dizaines de milliers de tonnes par an.

Production

Les recherches des huit dernières années ont surtout été orientées vers les facteurs de productivité, afin de préciser les chaînes alimentaires les plus utilisables et le rendement possible du lac. Pour cela, une évaluation de la production primaire au niveau des principaux biotopes est en cours. Déjà, Lemoalle (1969) l'avait évaluée à quelque 7 g d'O_2 produits par m^2 et par jour (soit environ 2 g de $C/m^2/j$), valeur relativement forte étant donné la composition minérale des eaux. Depuis, à cette valeur, d'autres ont été ajoutées s'échelonnant entre 1,87 et 7,17 g d'$O_2/m^2/j$ produits (soit, respectivement, environ 0,6 et 2,2 g de $C/m^2/j$). La moyenne annuelle de production primaire se situe aux environs de 1,45 g de $C/m^2/j$, soit un peu plus du double seulement de cette production primaire dans un lac comme le Léman (0,65 g de $C/m^2/j$, selon Brouardel et Serruya, 1967) et analogue à celle que Steemann Nielsen (1955) avait trouvée dans un lac riche en matières organiques du Danemark, le Søllerød Sø (1,43).

En matière de production secondaire, il faut distinguer à chaque niveau trophique la biomasse disponible, plus ou moins assimilable, et son taux de renouvellement, donc la vitesse et le rendement de sa production. La biomasse disponible varie d'une zone à l'autre du lac. Il y a par exemple 150 mg/m^3 en moyenne annuelle de zooplancton crustacéen dans les eaux libres du sud, 240 mg/m^3 dans les eaux libres du centre nord, 350 mg/m^3 dans les îlots-bancs et les archipels, soit respectivement 250, 750 et 1 150 mg/m^2. Étant donné la composition faunistique de ce zooplancton et son temps de génération, on peut estimer à 50 le rapport P/B. Cette communauté se renouvelle à peu près tous les mois pour les Copépodes, toutes les semaines pour les Cladocères.

Pour certains animaux, les variations de salure de l'eau sont assez prononcées au nord pour provoquer la disparition de certaines espèces. C'est le cas pour les Oligochètes Alluroididae qui disparaissent quand la conductivité électrique s'élève au-delà de 420 µmhos/cm et pour la plupart des mollusques benthiques (excepté peut-être les *Melania*) au-delà de 550 µmhos/cm.

Nous n'en sommes pas encore à évaluer par voie indirecte la capacité de production du lac en poisson, d'autant qu'il faudrait tenir compte des divers bols alimentaires possibles et des possibilités de pêche parfois gênées par le comportement des poissons. Cependant une première estimation fait état de quelque 100 000 tonnes.

La biomasse moyenne est de l'ordre de 500 kg/ha à l'est, dans les herbiers (Loubens, 1970) et la pêche à la senne de rivage permet d'en exploiter aisément 40 kg/ha.

LA BAISSE DE NIVEAU DU LAC

Comme nous le savons, grâce aux documents anciens et à l'information qui nous parvient par le service hydrologique de l'ORSTOM, comme par l'observation directe, le niveau du lac est actuellement dans sa période de baisse.

Cette baisse du niveau entraîne celle de la profondeur déjà très faible du lac et la mise à sec de certains rivages. Mais plus spectaculaire encore est la modification profonde de la grande zone des îlots-bancs et des herbiers qui souffre au premier chef de cette baisse des eaux. Les eaux libres sont elles-mêmes affectées car, si le volume du lac diminue, les vents, eux, restent toujours aussi puissants et aptes à rendre turbulente l'eau qui, ainsi, se trouble. Les fonds lacustres deviennent ainsi moins stables ou émergent tandis que l'évaporation, elle-même sans grande fluctuation climatique, provoque une augmentation de la salure des eaux au nord.

Si les algues du phytoplancton ne se ressentent pas encore trop de cette baisse des eaux, il y a cependant une accélération du processus de remplacement des Chlorophycées par les Cyanophycées et, au nord, installation progressive de biocénoses dont les caractéristiques se rapprochent progressivement, mais pas forcément régulièrement, de celles des mares et lacs natronés voisins.

Le zooplancton est également concerné. Les Rotifères sont plus sensibles aux fluctuations de salure que les Crustacés mais parmi ceux-ci certains Cladocères tendent à disparaître comme certaines espèces de vers benthiques (Alluroididae). La faune terrestre prend par ailleurs une place de choix dans le bol alimentaire de certains poissons (Schilbeidae), tandis que d'autres sont gênés physiologiquement par l'accroissement de la conductivité électrique des eaux (Mormyridae). Des espèces deviennent dominantes (*Synodontis batensoda*), alors que d'autres régressent (*Alestes baremoze*). Les animaux d'eaux libres ont tendance à disparaître, ceux qui dépendent du zooplancton pour leur nourriture comme ceux liés aux espèces benthiques dont certaines régressent également (mollusques, Chironomides). On assiste simultanément à une régulation momentanée des formes résistantes, à la régression des espèces adaptées à la vie pélagique et à un développement de celles préadaptées à la vie en milieux plus ou moins temporaires (tels que chez les poissons les *Clarias* et les Polyptères). Des crises distrophiques dans certaines baies abritées du lac ont déjà été signalées avec mortalité brutale de la faune due partiellement à la raréfaction de l'oxygène dissous, elle-même due à d'assez nombreux facteurs (température, remise en suspension des substances particulaires sédimentées, accroissement de la matière organique d'origine microbiologique, etc.).

Ainsi le lac Tchad, ou plus exactement sa zone nord, se prépare-t-il à évoluer comme les masses d'eaux périphériques qui lui étaient rattachées il y a quelque 8 000 ans, au pluvial récent, et encore partiellement il y a 3 000 ans (Faure, 1966). Mais tant que dureront le Chari et le Logone, qui drainent vers le nord les précipitations de la zone tropicale humide, il subsistera un lac Tchad riche en poissons et en ressources naturelles, dont l'aménagement devra rester la préoccupation des utilisateurs.

LES EAUX PÉRIPHÉRIQUES

De l'ancien grand lac Tchad ou Prototchad, subsistent des mares et lacs permanents ou temporaires. Si l'on excepte le lac Fitri, vaste marécage mal connu, ce sont surtout les « mares » du Kanem. Étudiées depuis plusieurs années, notamment par Iltis (1969, 1970, 1971), elles présentent au naturaliste tous les termes de passage entre le lac d'eau en cours de salinification et la mare natronée sans profondeur.

Alimentées par les pluies et par la nappe phréatique, elles sont sujettes comme le lac Tchad à des variations saisonnières dues à l'alternance d'une courte saison des pluies avec une longue saison sèche et à des variations annuelles dues aux fluctuations de niveau de la nappe phréatique. Suivant la profondeur des dépressions et l'éloignement du lac Tchad, on a affaire soit à des milieux permanents, soit à des mares temporaires.

Au point de vue de la composition chimique des eaux, les natronières, la nappe phréatique sous-jacente et les eaux de surface du Kanem ont été étudiées par Maglione (1968, 1969). Les eaux passent du type bicarbonaté calcique dans les lacs d'eau presque douce au type carbonaté sodique dans les milieux plus concentrés en sels dissous.

Si les biocénoses vivant dans les lacs les moins salés présentent beaucoup d'analogies avec celles du lac Tchad actuel, les peuplements des milieux plus concentrés deviennent rapidement différents dès que la salinité augmente. Pour ce qui est du phytoplancton, qui a été plus particulièrement étudié (Iltis, 1969, 1970, 1971), la production végétale des algues devient surabondante au-delà d'un seuil de salinité de 2 g/l environ, d'autant plus que les consommateurs primaires animaux tendent à disparaître : il se produit alors des successions algales plurispécifiques, et même monospécifiques dans les eaux dont la teneur en sels dépasse 30 g/l.

Une distinction assez nette existe entre l'évolution du plancton dans les mares temporaires et celle des lacs permanents. Dans les premières, on assiste à des développements d'algues qui se succèdent rapidement à mesure que la salinité du milieu varie et évolue vers l'assèchement. Les Volvocales unicellulaires sont les premières à se multiplier au début de la mise en eau, puis apparaissent *Gomphosphaeria aponina*, puis *Anabaenopsis arnoldii* et *Oscillatoria* (*Spirulina*) *platensis*. Le genre *Synechocystis* est particulièrement abondant durant la période qui précède directement l'assec. En ce qui concerne le zooplancton, seuls des Rotifères subsistent dont trois espèces très fréquentes : *Brachionus dimidiatus*, *B. plicatilis*, *Hexarthra jenkinae*.

Dans les lacs permanents, le peuplement algal est en général dominé par une espèce dont la zone optimale de développement au point de vue de la salinité correspond à la concentration en sel moyenne du milieu tout au long de l'année. La densité phytoplanctonique est très élevée (le disque de Secchi disparaît à quelques centimètres de la surface), le zooplancton étant plus rare. Cette stabilité du peuplement n'est rompue que lorsque, la salinité par exemple étant modifiée, une autre espèce tend à supplanter l'espèce jusque-là dominante.

En conclusion, la flore algale de ces « mares » est caractérisée par :

— la dominance de quelques espèces atteignant une forte densité liée à la présence en nombre assez important d'autres taxons à effectif insignifiant ;

— une densité phytoplanctonique très élevée se situant le plus souvent entre 0,5 et 1 g/l de matière vivante ; une relation lie cette densité algale à la teneur en sel du milieu ;

— la dominance des Cyanophycées.

Signalons, enfin, que le développement en masse de la Cyanophycée *Oscillatoria* (*Spirulina*) *platensis* est maximal entre deux limites de salinité qui ont été estimées à 15 et 45 g/l. Cette algue, dans ces conditions, est produite en masse, et les populations locales l'exploitent à des fins commerciales. Cette algue est, en effet, riche en vitamines et, une fois séchée, sa teneur en protéines dépasse plus de 50 % de son poids sec.

Plusieurs laboratoires (dont en France l'Institut Français du Pétrole et en Allemagne celui de Dortmund), intéressés par la très forte productivité de ces algues dans le temps si on la compare à celle des céréales classiques, ont mis au point des techniques de culture industrielle à partir de souches originaires du Kanem. Les premiers résultats font état d'une productivité, au bout d'un an, 40 fois supérieure à celle du riz.

Ces essais font des mares du Kanem un milieu plein de promesses dans le domaine de l'alimentation des populations humaines des régions intertropicales, carencées en protéines, surtout si les recherches en cours permettent de mettre à la disposition des hommes un produit directement consommable et convenablement conditionné à cette fin. Plusieurs laboratoires se penchent actuellement sur cette question, notamment le centre ORSTOM de recherche sur la nutrition de Yaoundé (Cameroun).

RÉFÉRENCES

Blache, J., 1964. — Les poissons du bassin du Tchad et du bassin adjacent du Mayo-Kebbi. *Mém. ORSTOM, Paris*, **4** (2) : 1-483.

Blache, J., et F. Miton, 1960. — Poissons nouveaux du bassin du Tchad et du bassin adjacent du Mayo-Kebbi. I — Characoidei. *Bull. Mus. Hist. nat., Paris*, 2e sér., **32** (1) : 100-107. II — Cyprinoidei. *Bull. Mus. Hist. nat., Paris*, 2e sér., **32** (2) : 143-153. III — Cyprinodontidae et Cichlidae. *Bull. Mus. Hist. nat., Paris*, 2e sér., **32** (3) : 214-218.

Bouchardeau, A., 1958. — Salinité des eaux du lac Tchad, interprétation des résultats. Serv. Hydrol., ORSTOM, Fort-Lamy, 5 p., multigr.

Bouchardeau, A., et R. Lefèvre, 1957. — Monographie du lac Tchad. Rapp. ORSTOM, Fort-Lamy, 112 p., multigr.

Brouardel, J., et C. Serruya, 1967. — Mesure de la production organique dans le lac Léman à l'aide de ^{14}C. *Annls Limnol.*, **3** (2) : 299-330.

Carmouze, J.-P., 1968. — Ions majeurs, phosphates et silicates dans le lac Tchad en avril 1968. Rapp. ORSTOM, Fort-Lamy, 16 p., multigr.

— 1969. — La salure globale et les salures spécifiques des eaux du lac Tchad. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **3** (2) : 3-14.

— 1970. — Salures globales et spécifiques des eaux du lac Tchad. *Cah. ORSTOM*, sér. Géol., **2** (1) : 61-65.

— 1971. — Circulation générale des eaux dans le lac Tchad. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **5** (3/4) : 191-212.

Compère, P., 1967. — Algues du Sahara et de la région du lac Tchad. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, **37** (2) : 109-288.

Daget, J., 1967. — Introduction à l'étude hydrobiologique du lac Tchad. *C. r. Soc. Biogéogr.*, **380** : 6-10.

Dejoux, C., et L. Saint-Jean, 1972. — Étude des communautés d'invertébrés d'herbiers du lac Tchad : recherches préliminaires. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **6** (1) : 67-83.

Dupont, B., 1970. — Distribution et nature des fonds du lac Tchad (nouvelles données). *Cah. ORSTOM*, sér. Géol., **2** (1) : 9-42.

Dupont, B., et Ch. Lévêque, 1968. — Biomasse en Mollusques et nature des fonds dans la zone est du lac Tchad. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **2** (2) : 113-126.

Durand, J.-R., et G. Loubens, 1969. — Croissance en longueur d'*Alestes baremoze* (Poissons, Characidae) dans le Bas Chari et le lac Tchad. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **3** (1) : 59-105.

Dussart, B., et R. Gras, 1966. — Faune planctonique du lac Tchad. 1. Crustacés Copépodes. *Cah. ORSTOM*, sér. Océanogr., **4** (3) : 77-91.

Ehrenberg, C. G., 1856. — Über das mikroskopische Leben der centralen Landflächen Mittel-Afrika's nach Dr Vogels Materialen. *Mber. K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin* : 323-338.

Faure, H., 1966. — Évolution des grands lacs sahariens à l'Holocène. *Quaternaria*, **8** : 167-175.

Gauthier, H., 1939. — Contribution à l'étude de la faune dulçaquicole de la région du Tchad et particulièrement des Branchiopodes et des Ostracodes. *Bull. IFAN*, **1** (1) : 110-244.

Gras, R., 1964. — Rapport sur la détermination sommaire des principaux biotopes du lac Tchad. Rapp. ORSTOM, Fort-Lamy, 41 p., multigr.

Gras, R., A. Iltis et S. Lévêque-Duwat, 1967. — Le plancton du Bas Chari et de la partie est du lac Tchad. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **1** (1/4) : 25-100.

Iltis, A., 1969. — Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). 1 — Les lacs permanents à spirulines. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **3** (2) : 29-44.

— 1969. — Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). 2 — Les mares temporaires. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **3** (3/4) : 3-19.

— 1970. — Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). 3 — Variations annuelles du plancton d'une mare temporaire. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **4** (2) : 53-59.

— 1970. — Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). 4 — Note sur les espèces du genre *Oscillatoria* sous-genre *Spirulina* (Cyanophyta). *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **4** (3/4) : 129-134.

— 1971. — Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). 5 — Les lacs mésohalins. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **5** (1) : 73-84.

Lauzanne, L., 1969. — Étude quantitative de la nutrition des *Alestes baremoze* (Pisc. Charac.). *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **3** (2) : 15-27.

— 1972. — Régimes alimentaires des principales espèces de poissons de l'archipel oriental du lac Tchad. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **18** (2) : 636-646.

Lemoalle, J., 1969. — Premières données sur la production primaire dans la région de Bol (avril-octobre 1968) (lac Tchad). *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **3** (1) : 107-120.

Léonard, J., 1969. — Aperçu sur la végétation. *In* : Monographie hydrologique du lac Tchad. Rapp. ORSTOM, Fort-Lamy, 11 p., multigr.

Lévêque, Ch., 1972. — Mollusques benthiques du lac Tchad : Écologie, production et bilans énergétiques. Thèse de Doctorat ès-Sciences, Univ. Paris, 225 p., multigr.

Loubens, G., 1970. — Étude de certains peuplements ichthyologiques par des pêches au poison. 2e note. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **4** (1) : 45-61.

Maglione, G., 1968. — Présence de gaylussite et de trona dans les « natronières » du Kanem. *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.*, **91** : 388-395.

— 1969. — Premières données sur le régime hydrogéochimique des lacs permanents du Kanem (Tchad). *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **3** (1) : 121-141.

Mann, M. J., 1962. — Fish production and marketing from the nigerian shores of lake Chad, 1960-61. Lagos, Federal Fisheries Service, Ministry of Economic Development.

Pourriot, R., 1968. — Rotifères du lac Tchad. *Bull. IFAN*, sér. A, **30** (2) : 471-496.

Rey, J., et L. Saint-Jean, 1968. — Les Cladocères (Crustacés, Branchiopodes) du Tchad (1re note). *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **2** (3/4) : 79-118.

— 1969. — Les Cladocères (Crustacés, Branchiopodes) du Tchad (2e note). *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrobiol., **3** (3/4) : 21-42.

Robinson, A. H., et P. K. Robinson, 1969. — A comparative study of the food habits of *Micralestes acutidens* and *Alestes dageti* (Pisces : Characidae) from the northern basin of lake Chad. *Bull. IFAN*, sér. A, **31** (3) : 951-964.

— 1971. — Seasonal distribution of zooplankton in the northern basin of lake Chad. *J. Zool. Lond.*, **163** : 25-61.

Roche, M. A., 1969. — Évolution dans l'espace et dans le temps de la conductivité électrique des eaux du lac Tchad d'après les résultats de 1908, 1957, 1962 à mars 1968. *Cah. ORSTOM*, sér. Hydrol., **6** (1) : 35-74.

— 1970. — Hydrogéologie des côtes du lac Tchad à No, Tchingam et Soro (Kanem). Rapp., ORSTOM, Fort-Lamy, 32 p., multigr.

Steemann Nielsen, E., 1955. — The production of organic matter by the phytoplankton in a danish lake receiving extraordinarily great amounts of nutrient salts. *Hydrobiologia*, **7** (1/2) : 68-74.

Tilho, J., 1910. — Documents scientifiques de la mission Tilho 1906-1909. Impr. Nat., Paris : 553-600.

Touchebeuf de Lussigny, P., 1969. — Monographie hydrologique du lac Tchad. Rapp. ORSTOM, Fort-Lamy, 169 p., multigr.

Manuscrit déposé le 2 avril 1973.

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 3e sér., no 152, mai-juin 1973,
Écologie générale 8 : 145-162.

Achevé d'imprimer le 31 janvier 1974.

IMPRIMERIE NATIONALE

3 564 003 5

Recommandations aux auteurs

Les articles à publier doivent être adressés directement au Secrétariat du *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, 57, rue Cuvier, 75005 Paris. Ils seront accompagnés d'un résumé en une ou plusieurs langues. L'adresse du Laboratoire dans lequel le travail a été effectué figurera sur la première page, en note infrapaginale.

Le *texte* doit être dactylographié à double interligne, avec une marge suffisante, recto seulement. Pas de mots en majuscules, pas de soulignages (à l'exception des noms de genres et d'espèces soulignés d'un trait).

Il convient de numéroter les *tableaux* et de leur donner un titre ; les tableaux compliqués devront être préparés de façon à pouvoir être clichés comme une figure.

Les *références bibliographiques* apparaîtront selon les modèles suivants :

Bauchot, M.-L., J. Daget, J.-C. Hureau et Th. Monod, 1970. — Le problème des « auteurs secondaires » en taxionomie. *Bull. Mus. Hist. nat., Paris*, 2e sér., **42** (2) : 301-304.

Tinbergen, N., 1952. — The study of instinct. Oxford, Clarendon Press, 228 p.

Les *dessins* et *cartes* doivent être faits sur bristol blanc ou calque, à l'encre de chine. Envoyer les originaux. Les *photographies* seront le plus nettes possible, sur papier brillant, et normalement contrastées. L'emplacement des figures sera indiqué dans la marge et les légendes seront regroupées à la fin du texte, sur un feuillet séparé.

Un auteur ne pourra publier plus de 100 pages imprimées par an dans le *Bulletin*, en une ou plusieurs fois.

Une seule épreuve sera envoyée à l'auteur qui devra la retourner dans les quatre jours au Secrétariat, avec son manuscrit. Les « corrections d'auteurs » (modifications ou additions de texte) trop nombreuses, et non justifiées par une information de dernière heure, pourront être facturées aux auteurs.

Ceux-ci recevront gratuitement 50 exemplaires imprimés de leur travail. Ils pourront obtenir à leur frais des fascicules supplémentaires en s'adressant à la Bibliothèque centrale du Muséum : 38, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, 75005 Paris.


MUSEUM
NATIONAL
D'HIST. NAT.